電流モードアンプの試作

島先宏充

はじめに

このアンプを製作したきっかけは図1(a)の差動増幅回路で実験していたとき，次の2点について違いが見られたことによります．

①入力信号が減衰器を通った場合と通らない場合

②出力A側とB側

図1(a)は実験回路，図1(b)は入力減衰器の有無による周波数特性の違い，図1(c)は出力A，Bの周波数特性の違いを表したものです．入力・出力いずれもB側を選んだほうが周波数特性が優れています．

また，ゲイン調節は図1(a)のバランス調整用抵抗Rの値の変化で可能になります．この方法は周波数特性および歪みの点で有利です．

パワーアンプの構想

上記の実験から，入力側に音量調節用減衰器を付けた場合のデメリット，および差動増幅初段の不完全対称性を考えると，回路の右側と左側を別々に分担させたほうがよさそうです．

①左側はソースフォロワーとして信号の低インピーダンス化専用に使う．

②右側はゲート接地方式の電圧増幅専用に使う．

③抵抗Rを可変にして音量調節用とする．

④出力段は通常よく使われている方法を使用する．

以上の方針と実験から，試作1号を経て2号目は図2に示す回路のアンプとなりました．

増幅度と歪み

図3はFET2SK146のI_D-V_{GS}特性曲線の一例ですが，どのような増幅素子も湾曲が存在します．これが歪みの原因となっているわけで，やむをえません．

ところで，規格表からの相互コンダクタンスg_m ($=\Delta I_D/\Delta V_{GS}$)は，$I_D-V_{GS}$特性曲線のどのあたりをとっているのでしょうか．実測グラフから推定するところ適正動作点あたりの$\Delta I_D/\Delta V_{GS}$値と思われます．

(1) ソースフォロワー回路

オームの法則では$R=V/I$ですが信号電流・電圧のように狭い範囲を変動する場合は$R=\Delta V/\Delta I$のほうが妥当です．これはg_mの逆数の形をしています．$r=1/g_m$として，これをゲート・ソース間のみかけ上の抵抗と考えることができます．

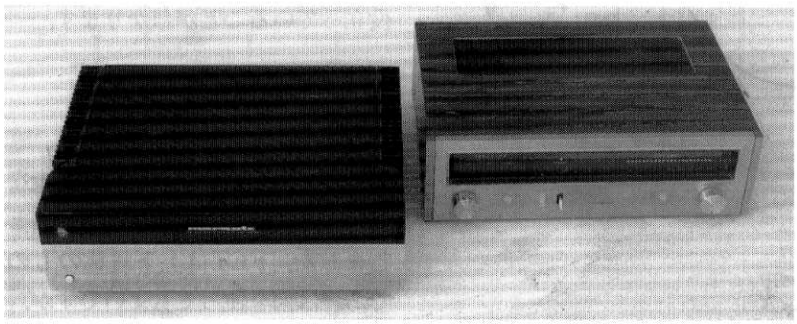
これを検証するために図4(a)に示す回路を組み，$r=1/g_m$の妥当性を調べてみます．下のシミュレーション回路からΔV_{IN}を入力信号，ΔV_{OUT}を出力信号，R_Lを負荷抵抗とすると，電圧ゲインAは，

$$A=\frac{\Delta V_{OUT}}{\Delta V_{IN}}=\frac{R_L}{r+R_L}$$

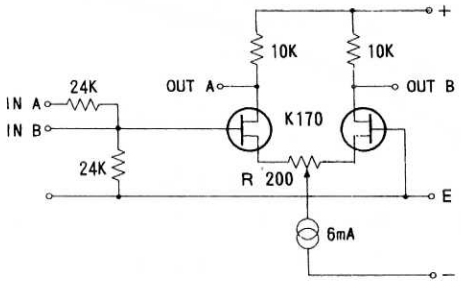
となります．$A<1$ですが，R_Lが大きくなるにしたがいrの影響が小さくなり，歪みが減少します．図3から2SK146のg_mは約43mSとなるので，これより$r\fallingdotseq 23\Omega$となります．R_Lの値を数点選んでゲインの計算値と実測値を比較したものが図4(c)です．ほぼ$r=1/g_m$とみなしてよいようです．このrがソースフォロワー回路の出力インピーダンスでもあります．

(2) 2段目の電圧増幅度

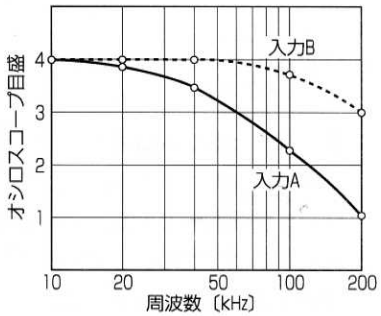
図5は初段と2段目の関係をシミュレーションしたものでr_1は初段



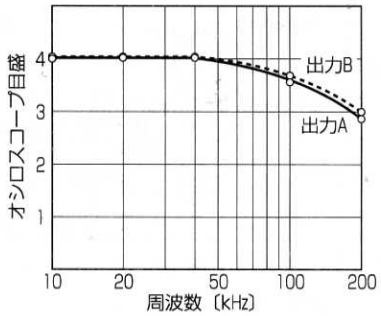
メーカー製品の筐体を活用して製作したプリ部とパワー部



(a) 実験回路

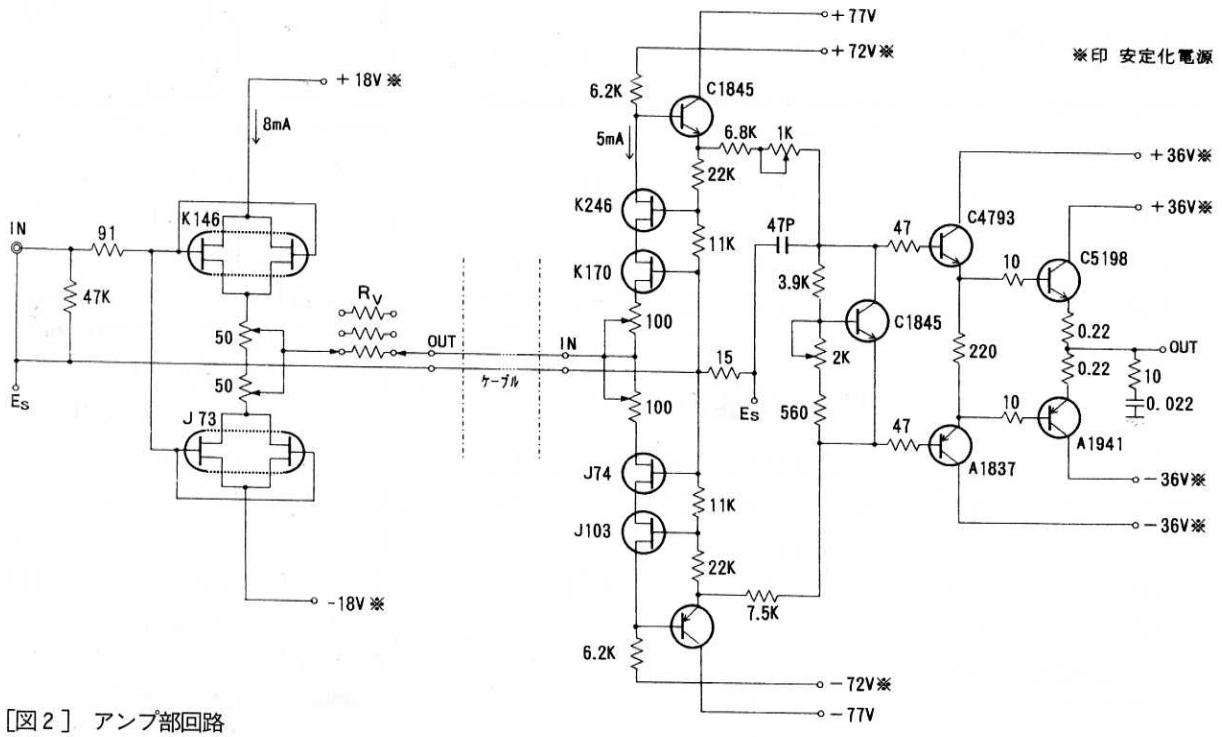


(b) 入力の抵抗の有無による周波数レスポンス

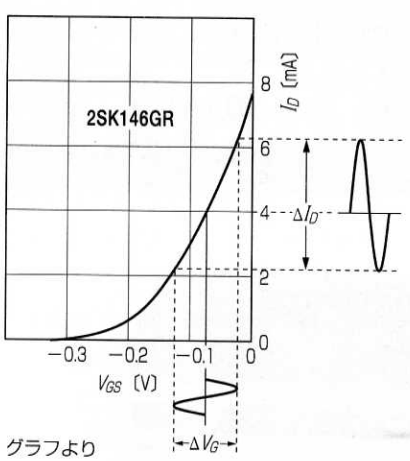


(c) 出力点による周波数レスポンス

[図1] 差動増幅回路の実験



［図2］ アンプ部回路



グラフより

$g_m = \frac{4.3\text{mA}}{0.10\text{V}}$

$= 43\,[\text{mS}]$

［図3］ 2SK146のI_D-V_{GS}特性

フォロワー回路の出力インピーダンス，R_Vは音量調節用抵抗，r_2は2段目ソース入力回路の入力インピーダンスです．流れる信号電流ΔI_Sは図5の式(2)になります．

図5(式3)によりR_Vが音量を決めると同時にr_1，r_2の影響を小さくする方向にはたらき，歪みの減少に役立っていることがわかります．

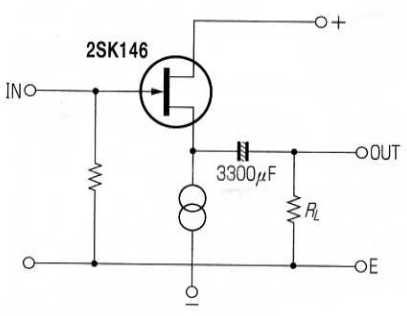
回路構成

(1) アンプ部

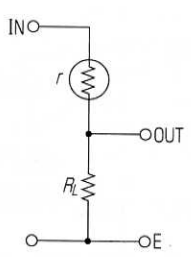
温度による出力のドリフトを少なくするため，回路は上下対称回路としました．FETは上下対称のものであれば何を使ってもよいですが，g_mの大きいものほど増幅度の点で有利になります．初段が並列になっているのは，デュアルで高g_mのFETを使うことにより出力イピーダンスをより低くするためです．

R_Vにははじめ10kΩB型の可変抵抗器を使用していましたが，現在は23接点ロータリースイッチで増幅度が2dBステップになるように抵抗を切り換えています．

電圧増幅を担っているのは2段目だけなので，ここの最大振幅でアンプの出力が決まってしまいます．出力50W以上をねらったので供給電圧が70Vを超えることになりました．この電圧に耐えられるジャンクショ

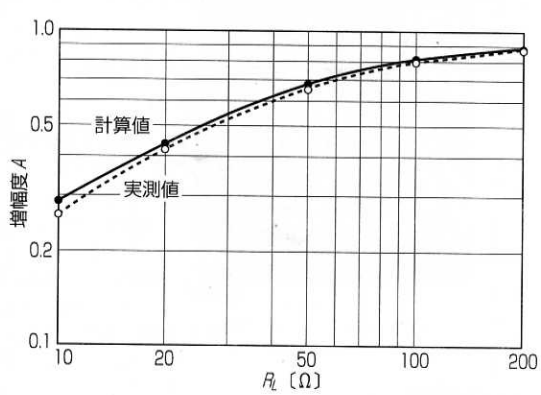


(a) 実験回路

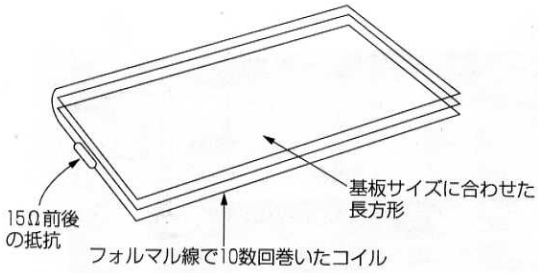


(b) シミュレーション回路

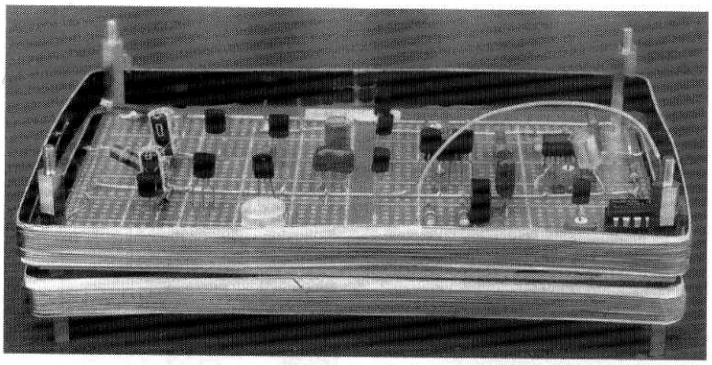
［図4］ ソースフォロワー回路のR_Lと増幅度



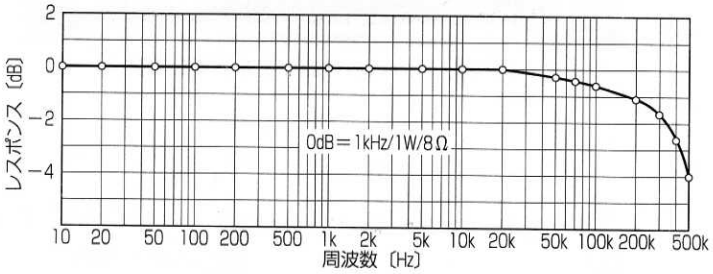
(c) ソースフォロワー実験回路の電圧増幅度



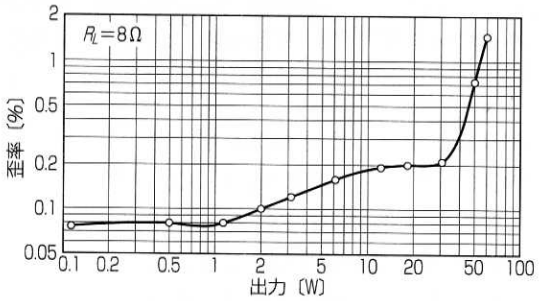
［図7］ 電磁誘導波・ノイズ減衰用コイル



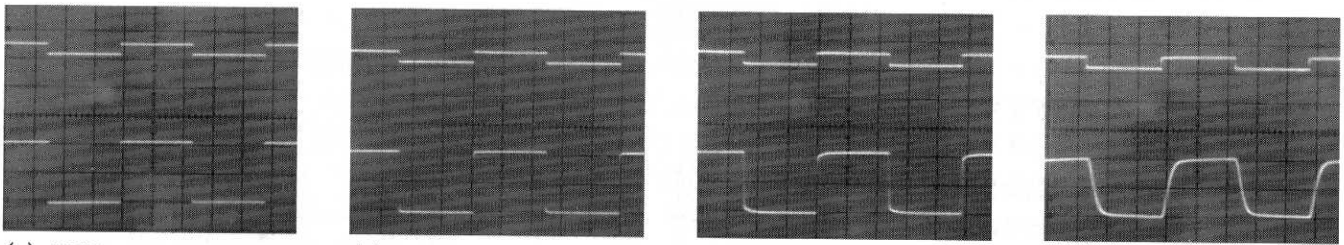
基板を取り囲むようにした，電磁誘導波とノイズの減衰用コイル．これを各基板に設置する



［図8］ 周波数特性



［図9］ 1kHz歪率特性（8Ω負荷）



(a) 100Hz　(b) 1kHz　(c) 10kHz　(d) 100kHz

方形波応答（上：入力，下：出力．8Ω負荷）

ろいろな方法がありますが，私は簡単で確実な方法としてループコイルと小抵抗を組み合わせたものがよいと考えています（図7，写真）．

これをアンテナとしてアンプ内に適宜配置し，受信したエネルギーを抵抗により消費させようという考えです．これ2個で増幅基板を挟むようにして左右チャンネル両基板で合わせて4個装着にした場合，100kHzのサイン波信号でクロストークが1/5になる実験結果を得ています．また，このコイルは数10kHz～数MHzの電磁誘導波について減衰の効果があることも確認しています．

測定

周波数特性は無帰還アンプとしては良いほうだと思います（図8）．

歪率特性は，測定に日本オーディオの簡易型を使用したので1kHzのみです（図9）．音量調節用の抵抗R_Vを240Ωとして測定しました．家では通常R_V＝3.6kΩで聴いています．

試聴結果

先に述べた電磁誘導波およびノイズ対策の効果として，

①音像が安定する

②残響音がよくわかるようになる

などの効果が得られています．

前作の1号機では試聴会で，

③音がスピーカーから離れている．

④半導体アンプでは聞いたことのない音

などの評を得ています．

一方，マイナス面では，

⑤音が硬い

⑥増幅度不足

という評もあったので，増幅素子の変更とわずかな回路の変更を行った結果，図2のようになりました．またループコイルの数を全体で10個以上に増やし適所に配置しました．音が少し滑らかになり，残響音がさらにわかるようになったと思います．

おわりに

この増幅方式は始め遊び程度に思っていたのですが，やっているうちに私の従来の方法より有利な点がわかってきて，自分では満足しています．信号を電流で考えることができるので電流モードアンプの一種と考えています．ノイズ除去の効果についても多くの方に試していただきたいと思います．　（富山県下新川郡）